

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開 2001-272569

(P 2001-272569A)

(43) 公開日 平成13年10月5日 (2001.10.5)

(51) Int. Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テ-マコ-ト (参考)
G 0 2 B	6/22	G 0 2 B	2H050
	6/10		C
	6/20		

審査請求 未請求 請求項の数 7

O L

(全 8 頁)

(21) 出願番号 特願2001-9294 (P2001-9294)  
(22) 出願日 平成13年1月17日 (2001.1.17)  
(31) 優先権主張番号 特願2000-13185 (P2000-13185)  
(32) 優先日 平成12年1月21日 (2000.1.21)  
(33) 優先権主張国 日本 (JP)

(71) 出願人 000002130  
住友電気工業株式会社  
大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号  
(72) 発明者 長谷川 健美  
神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電  
気工業株式会社横浜製作所内  
(72) 発明者 西村 正幸  
神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電  
気工業株式会社横浜製作所内  
(74) 代理人 100088155  
弁理士 長谷川 芳樹 (外3名)

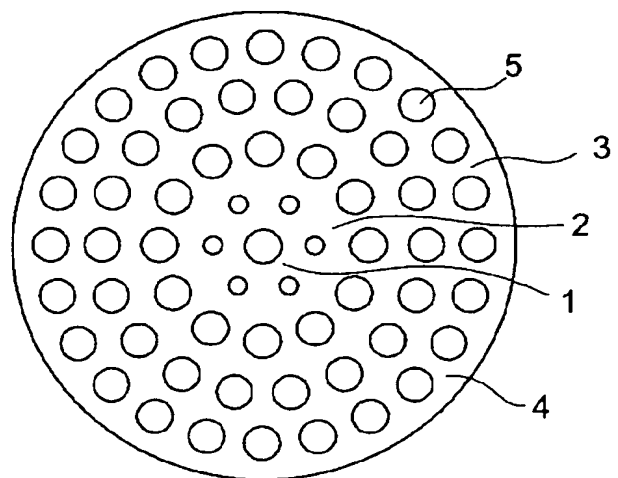
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光ファイバ

(57) 【要約】

【課題】 均一なクラッド構造を有する光ファイバよりも負分散を大きくすると共に、実効コア断面積を大きくさせることができる光ファイバを提供する。

【解決手段】 中心に空洞部を有する第1コア領域1と、それを取り囲み、その平均屈折率が第1コア領域1より高く設定されている第2コア領域2と、それを取り囲み主媒質4中に主媒質4とは異なる光学特性を有する副媒質5からなる領域が点在して配置されているクラッド領域3とを備え、クラッド領域3の平均屈折率は、第1コア領域1と第2コア領域2を合わせたコア領域全体の平均屈折率より低く設定されている。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 ファイバ軸に沿って伸びるコア領域と、このコア領域を包囲してファイバ軸に沿って伸びるクラッド領域と、を有し、少なくともクラッド領域中にクラッド領域を構成する主媒質と異なる光学特性を有する副媒質が主媒質を分断することなく点在して配置されている光ファイバにおいて、

前記コア領域は、中心に空洞部を有する中心コア領域と、この中心コア領域を包囲し、前記中心コア領域の平均屈折率より高い平均屈折率を有する外側コア領域とがともにファイバ軸に沿って伸びて構成されており、前記コア領域全体の平均屈折率が前記クラッド領域の平均屈折率より高く設定されている光ファイバ。

【請求項 2】 前記コア領域および前記クラッド領域を構成する主媒質はシリカガラスであって、前記空洞部を伝搬する光パワーの全光パワーに対する割合が 1% 以上である請求項 1 記載の光ファイバ。

【請求項 3】 前記空洞部を伝搬する光パワーの全光パワーに対する割合が 10% 以上である請求項 2 記載の光ファイバ。

【請求項 4】 前記空洞部はその長手方向の少なくとも一端が閉止されている請求項 1 記載の光ファイバ。

【請求項 5】 長手方向の両端が閉止された複数の前記空洞部が長手方向に周期的に配置されている請求項 4 記載の光ファイバ。

【請求項 6】 前記空洞部内は真空である請求項 1 記載の光ファイバ。

$$\left( \frac{f_1}{n_1^2} + \frac{f_2}{n_2^2} \right)^{-1} \leq n_{\text{eff}}^2 \leq f_1 n_1^2 + f_2 n_2^2 \quad \dots(1)$$

【0005】 ここで、 $n$  は屈折率、 $f$  は容積分率を表す。また、添字 1 はシリカガラス、添字 2 は空気を表す。容積分率については、 $f_1 + f_2 = 1$  が成り立つ。通常、 $n_1 > n_2$  であるから、式 (1) の最左辺と最右辺は、 $f_2$  の増大に伴って小さくなる。従って、ボイド 72 を多数含むクラッド領域 74 の実効屈折率は、コア領域 73 の実効屈折率よりも小さくなり、通常の光ファイバと同様に光閉じ込め効果が実現される。

【0006】 このような実効屈折率のモデルは、微細構造スケールに比べて光の波長が長い場合については妥当であると考えられる。しかし、光の波長が短くなっていくに伴い、屈折率の高い場所に光が局在するようになるため、実効屈折率は上昇し、屈折率分布を持つ構造を均一な媒質で置換できるとする仮定も、妥当性を失っていくと考えられる。

【0007】 一方、このような光ファイバよりも大きい負分散を持つ光ファイバが、例えば、特開平 10-95628 号公報に開示されている。この光ファイバは、上記のような微細構造を有するが、クラッド領域が内部ク

【請求項 7】 前記空洞部内には光利得性の気体が封入されている請求項 1 記載の光ファイバ。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、光伝送路及び分散補償器として好適な光ファイバに関する。

【0002】

【従来の技術】 図 12 は、従来から知られているいわゆる微細構造を有する光ファイバの断面図である。この光ファイバは、図 12 に示すように、シリカガラス 71 の材料中に多数の微細構造であるボイド 72 (空孔) が設けられた断面構造を有する。ボイド 72 が無い断面中心部分がコア領域 73 であり、このコア領域 73 を包囲し、ボイド 72 を多数含む部分がクラッド領域 74 である。

【0003】 このような微細構造を含む光ファイバの光閉じ込めの原理は、定性的には実効屈折率という概念を用いて説明される (例えば、T.A.Birks ら、Optics Letters Vol. 22 p. 961 (1997))。微細構造を有するため、厳格に考えるとコア領域 73 及びクラッド領域 74 内で屈折率は複雑な分布を示すはずであるが、各領域を均一な媒体で置換して光導波特性を近似したときの、この均一な媒体の屈折率を実効屈折率と呼ぶ。実効屈折率  $n_{\text{eff}}$  は、次の不等式を満たす。

【0004】

【数 1】

ラッド領域と外部クラッド領域とによって構成され、内部クラッド領域の実効屈折率が外部クラッド領域の実効屈折率よりも小さいという特徴を有する。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、上記公報に開示されている光ファイバは、均一なクラッド構造を有する光ファイバに比べて負分散が増大する一方、実効コア断面積の低下、といった問題を有する。

【0009】 本発明は、このような事情に鑑みてなされたものであり、均一なクラッド構造を有する光ファイバよりも負分散を大きくすると共に、実効コア断面積を大きくさせることができる光ファイバを提供することを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】 上記課題を解決するため、本発明に係る光ファイバは、ファイバ軸に沿って伸びるコア領域と、このコア領域を包囲してファイバ軸に沿って伸びるクラッド領域と、を有し、少なくともクラッド領域中にクラッド領域を構成する主媒質と異なる光

学特性を有する副媒質が主媒質を分断することなく点在して配置されている光ファイバにおいて、このコア領域は、中心に空洞部を有する中心コア領域と、この中心コア領域を包囲し、中心コア領域の平均屈折率より高い平均屈折率を有する外側コア領域とがともにファイバ軸に沿って伸びて構成されており、コア領域全体の平均屈折率がクラッド領域の平均屈折率より高く設定されていることを特徴とする。

【0011】このように構成することにより、本発明に係る光ファイバの構造分散は、均一クラッド構造を有する光ファイバの構造分散よりも負に大きくなる。また、実効コア断面積も大きくなる。このため、大きな負分散を得ることができると共に、従来の光ファイバと比較してより大きな実効コア断面積を確保することができる。

【0012】この光ファイバは、コア領域とクラッド領域を構成する主媒質がシリカガラスであって、空洞部を伝搬する光パワーの全光パワーに対する割合が1%以上であることが好ましく、10%以上であればより好ましい。

【0013】このような光ファイバは、低非線形性、低伝送損失の光伝送路の実現に適している。従来技術では、光ファイバを伝搬する光パワーのほとんどすべてが主媒質中を伝搬するため、光ファイバにおける非線形性や伝送損失は主媒質のそれに事実上等しくなる。しかし、空洞部を伝搬する光パワーの割合を大きくすることにより、光ファイバにおける非線形性および伝送損失は、空洞部と主媒質との中間的な値になる。そして、空洞部に低非線形性と低伝送損失を有する不活性気体、乾燥空気を封入するか、真空とすることで、低非線形性、低伝送損失の光伝送路が実現できる。なお、シリカガラスには、Ge、F、B、P、Tiなどを添加してもよく、それによって伝送特性に変化を与えることができる。

【0014】この空洞部は少なくとも長手方向で一端が閉止されていることが好ましく、両端を閉止した空洞部を長手方向に周期的に配置すればより好ましい。

【0015】この構成により、ファイバ端に開いた空洞部に汚染物質が侵入することによる伝送損失の発生を防止できる。さらに、空洞部が閉止された部分が周期的に存在することにより、これらの部分においてファイバを\*

\*切断して他の光部品との間で光結合を実現することが容易になる。

【0016】この空洞部内は真空であってもよく、あるいは空洞部内には光利得性の気体が封入されていても好ましい。空洞部を真空とすることにより、低非線形性、低伝送損失を実現できる。また、空洞部に光利得性の気体を封入することにより、光増幅用ファイバを実現できる。この光ファイバでは、主媒質を伝搬する光パワーの割合が低いために、高パワーまで増幅しても非線形光学効果がおきにくい。

【0017】

【発明の実施の形態】以下、添付図面に基づき、本発明の実施の形態について説明する。なお、各図において同一要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。また、図面の寸法比率は、説明のものとは必ずしも一致していない。

【0018】図1は、本発明に係る光ファイバの断面における領域区分を示す図であり、図2は、上記実施の形態に係る光ファイバの微細構造を説明する断面図である。図1に示すように、本実施の形態では、断面が、第1コア領域1と、第1コア領域1を包囲する第2コア領域2と、第2コア領域2を包囲するクラッド領域3とから構成される。第1コア領域1と、第2コア領域2とを合わせてコア領域10と呼ぶ。また、これらの各領域は、図2に示すように、主媒質としてのシリカガラス4と副媒質としての多数のボイド5とから構成されている。

【0019】以下の説明においては、各領域の屈折率として平均屈折率という概念を用いる。実効屈折率は、近似を用いて定義されるために、定義があいまいであり、構造の記述には適さないため、これを用いない。図3は、本実施形態の光ファイバにおいて平均屈折率の求め方を説明する図である。ある領域で着目した一つのボイド5xについて、それを取り囲む全てのボイド5との間に垂直二等分線を引く。これらの垂直二等分線によって区画され、内部に1個のボイド5xのみを含む多角形を定義する。これをセル6と呼ぶ。このセル6において、平均屈折率 $n_{avg}$ を次式によって算出する。

【0020】

【数2】

$$n_{avg} = \sqrt{\frac{n_g^2(A_{cell} - A_{hole}) + n_h^2 A_{hole}}{A_{cell}}} \quad \dots(2)$$

【0021】ただし、 $n_g$ はファイバ材料部分の屈折率、 $n_h$ は、ボイド5x部分の屈折率であり、 $A_{cell}$ はセル6全体の面積、 $A_{hole}$ はボイド5xの面積を表す。所定の領域の平均屈折率 $N_{avg}$ は、その領域に含まれるセル6のセル番号をj~kとし、i番目のセル6の平均屈折率を $n_{avg,i}$ 、セル面積を $A_{cell,i}$ とすると、次式で表すことができる。

【0022】

【数3】

$$N_{\text{avg}} = \frac{\sum_{i=1}^k n_{\text{avg},i}^2 A_{\text{cell},i}}{\sum_{i=1}^k A_{\text{cell},i}} \quad \dots(3)$$

【0023】本実施形態においては、コア領域10の平均屈折率をクラッド領域3の平均屈折率より高く設定していることを特徴とする。各領域の平均屈折率 $N_{\text{avg}}$ は、ボイド5の大きさを調整することで設定することが可能である。すなわち、単位断面面積当たりのボイド5の断面面積を増加又は減少することによって、主媒質であるシリカガラス4と副媒質であるボイド5との割合が増減するため、その領域の平均屈折率 $N_{\text{avg}}$ を任意の値に設定することができる。

【0024】本発明者らはボイド5の径、ピッチの異なる

	ピッチL	第1コア領域	第2コア領域	クラッド領域
実施例1	1.22 $\mu\text{m}$	0.3	0.2	0.4
実施例2	1.23 $\mu\text{m}$	0.4	0.2	0.4
実施例3	1.25 $\mu\text{m}$	0.5	0.2	0.4
比較例	1.20 $\mu\text{m}$	0.2	0.2	0.4

表1 ボイドの直径分布

【0028】表1から明らかなように、実施例1～3の各々と比較例とは光ファイバの中心に存在するボイド5の径のみが異なる。図4は実施例2の断面構造を示す図である。六方格子上にボイド5a、5b又は5cが並び、第2コア領域2におけるボイド5bは、他領域におけるボイドに比べて径が小さい。これにより、第2コア領域2の平均屈折率をクラッド領域3の屈折率より増大させるとともに、第1コア領域の屈折率を第2コア領域の屈折率より低下させることが可能である。

【0029】図5、図6は、実施例1、実施例3のそれぞれについて、各ボイド5の中心Pをセル6の位置とし、原点O（ファイバ軸）からPまでの距離をrとして、各セルの平均屈折率 $n_{\text{avg}}$ を散布図として表したものである。ここでは、材料のシリカガラス4の屈折率を1.444、空気の屈折率を1として計算した。

【0030】いずれの実施例でも、第2コア領域2では、ボイド5の径が小さいために平均屈折率が高くなると共に、第1コア領域1ではボイド5の径が大きいため平均屈折率が低くなっている。コア領域10全体の平均屈折率は、いずれの実施例においてもクラッド領域3の平均屈折率より高くなる。

【0031】図7は、各実施例1～3と比較例における構造分散 $D_{wg}$ と実効コア断面面積 $A_{\text{eff}}$ を比較した結果である。左側の縦軸は構造分散 $D_{wg}$ 、右側の縦軸は実効コア断面面積 $A_{\text{eff}}$ 、横軸は光波長 $\lambda$ である。破線は基底モード、実線は高次モードの特性を示す。実施例1～3、比較例のいずれも、1.5  $\mu\text{m}$ 付近に高次モードのカットオフを有する。構造分散 $D_{wg}$ に関しては、比較例に対

する3種類の光ファイバ（実施例1～3と呼ぶ）を作成し、これらと従来型の均一クラッド構造を有する光ファイバ（比較例と呼ぶ）とで特性の比較を行ったので、以下、その結果について報告する。

【0025】実施例1～3および比較例の光ファイバはいずれもボイド5のピッチLは一定で層数mは7である。光ファイバのファイバ中心にあるボイド5を中心とするセル領域が第1コア領域1に該当し、これを取り囲む6個のセル6が第2コア領域2に相当し、その外側の162個のセル6がクラッド領域3に相当する。

【0026】実施例1～3のそれぞれと比較例の各ピッチLと各領域におけるボイド5の直径とピッチLの比率 $d/L$ の分布を表1に示す。

【0027】

【表1】

して、実施例1、実施例2、実施例3の順で次第に負に大きくなっている。実効コア断面面積 $A_{\text{eff}}$ に対しても同様に比較例に対して、実施例1、実施例2、実施例3の順で次第に大きくなっている。このように、本実施形態によれば、大きな負分散が得られると共に、大きな実効コア断面面積 $A_{\text{eff}}$ を得ることができていることが確認された。

【0032】このように、大きな実効コア断面面積を有するので、非線型光学現象の発生を抑制することができ、伝送品質の向上を図ることができる。また、大きな負分散を有するので、正の波長分散を補償するのに必要なファイバ長が短くて済む。

【0033】上述の実施形態においては、コア領域、クラッド領域にはボイドを形成し、内部には空気が満たされている例を説明してきたが、第1コア領域1以外については、ボイドに代えて主媒質たる光ファイバ材料とは屈折率の異なる媒質で微細構造領域を形成してもよい。また、第1コア領域1のボイド5aについても、内部を真空としたり、光利得性の物質で満たしてもよい。

【0034】真空とすることにより、低伝送損失と低非線形性を実現できる。また、光利得性の物質で満たすことにより、シリカガラスでの非線形光学効果が抑えられた光増幅用ファイバを実現できる。

【0035】ここで、ボイド5を伝搬する光のパワーは光ファイバを伝搬する光パワーの1%以上であることが好ましく、10%以上であればさらに好ましい。このように空洞部を伝搬する光パワーを増大させるには、図8に示されるような構造が適している。

【0036】図8に示される実施形態においては、第1コア領域1c、第2コア領域2c、クラッド領域3cのそれぞれが主媒質であるシリカガラス4c中に副媒質であるボイド5cを設けることで構成されており、それぞれの領域における孔径／ピッチの比率 $d/L$ は、0.86、0.77、0.80に設定されている。

【0037】図9は、ピッチ $L$ を $0.8\mu\text{m}\sim 1.8\mu\text{m}$ の間で変化させた場合の波長 $1550\text{nm}$ における空洞部を伝搬する光パワーの割合 $F_{\text{void}}$ 、実効コア面積 $A_{\text{eff}}$ を示している。ここで、図中には実効コア面積として2つの異なる値 $A_{\text{eff}1}$ 、 $A_{\text{eff}2}$ を示しているが、このうち $A_{\text{eff}1}$ は、次式で与えられる通常の定義による値である。

【0038】

【数4】

$$A_{\text{eff}1} = \frac{\left\{ \int_{\Omega} |E|^2 dA \right\}^2}{\int_{\Omega} |E|^4 dA} \quad \dots(4)$$

【0039】ここで、太字の $E$ は、光電界であり、 $\Omega$ はファイバ断面全体である。(4)式で定義される実効コア断面積は、通常の光ファイバにおける非線形性の指標としては役立つが、本発明のような非線形性を無視できる副媒質を含む光ファイバではむしろ、次式で定義される実効コア断面積 $A_{\text{eff}2}$ を指標として用いるべきである。

【0040】

【数5】

$$A_{\text{eff}2} = \frac{\left\{ \int_{\Omega_1} |E|^2 dA \right\}^2}{\int_{\Omega_1} |E|^4 dA} \quad \dots(5)$$

【0041】ここで $\Omega_1$ は、主媒質の領域（非線形性を無視できる副媒質の領域を除いた領域）を示す。

【0042】図9より明らかなように、この光ファイバでは、副媒質領域を伝搬する光パワーの割合 $F_{\text{void}}$ が25%以上と高い。そして、 $A_{\text{eff}2}$ が $A_{\text{eff}1}$ より高いが、これは非線形性の副媒質に光パワーの一部を伝搬させることによって、ファイバの非線形性が低減されることを示している。

【0043】本発明に係る光ファイバは断面構造が軸方向に一様である必要はない。例えば、図10に縦断面構造を示すように、空洞部が閉止されている箇所（図11に横断面を示す箇所）が軸方向に1ヶ所ないし数ヶ所設けられていてもよい。また、この閉止されている箇所を複数設ける場合は、閉止箇所を軸方向で周期的に配置することが好ましい。

【0044】その結果、ファイバ端に開いた空洞部への、水蒸気などの汚染物質の侵入を防ぐことができる。そのため、他の光部品との光結合の実現に伴う伝送損失の発生を防止することができる。さらに、ファイバの軸

方向に閉止部が周期的に存在することにより、接続の必要性が生じた際に、これらの閉止部においてファイバを切断して接続することができ、低損失の接続が容易となる。

【0045】ここでは、コア空洞部5aのみを周期的に閉止する形態を図示したが、他のボイド5についても同じ周期で閉止する構造をとってもよい。

【0046】

【発明の効果】以上説明したように、本発明に係る光ファイバの構造分散は、均一クラッド構造を有する光ファイバの構造分散よりも負に大きくなる。また、実効コア断面積も大きくなる。このため、大きな負分散を得ることができると共に、従来の光ファイバと比較してより大きな実効コア断面積を確保することができる。

【0047】さらに、空洞部を伝搬する光パワーの割合を大きくすることで、空洞部に不活性気体、乾燥空気を封入するか、真空とすることで、低非線形性、低伝送損失の光伝送路が実現できる。空洞部に光利得性の気体を封入すれば、光増幅用ファイバを実現でき、主媒質を伝搬する光パワーの割合が低いために、高パワーまで増幅しても非線形光学効果がおきにくい。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る光ファイバの断面における領域区分を示す図である。

【図2】図1の光ファイバの構造を示す横断面図である。

【図3】本発明における平均屈折率の定義を説明する図である。

【図4】実施例2の光ファイバの断面構造を示す図である。

【図5】実施例1内の平均屈折率分布を示す散布図である。

【図6】実施例3内の平均屈折率分布を示す散布図である。

【図7】実施例1～3と比較例の構造分散と実効コア断面積の計算結果を比較して示す図である。

【図8】本発明に係る光ファイバのさらに別の実施形態の構造を示す横断面図である。

【図9】図8の光ファイバについてピッチに対して空洞部を伝搬する光パワーの割合と実効コア断面積をプロットしたグラフである。

【図10】本発明に係る光ファイバの別の実施形態の構造を示す縦断面図である。

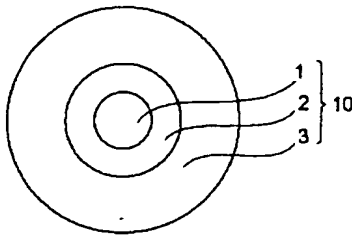
【図11】図10のXI-XI線断面図である。

【図12】従来から知られている微細構造を含む光ファイバの断面図である。

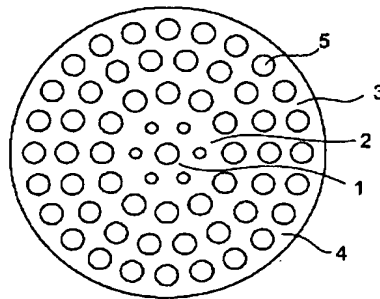
【符号の説明】

1…第1コア領域、2…第2コア領域、3…クラッド領域、4…主媒質、5…副媒質（空孔＝ボイド）、6…セル、10…コア領域。

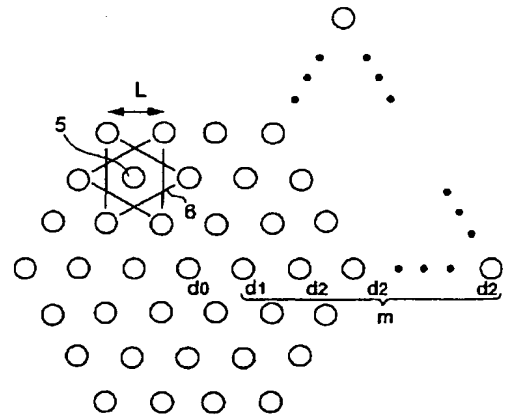
【図1】



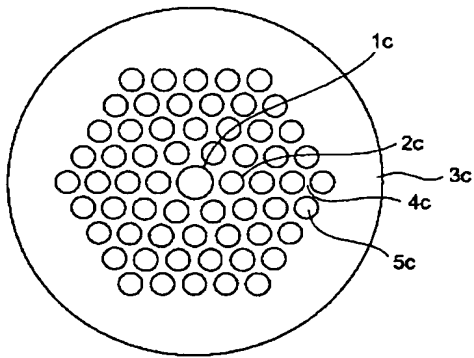
【図2】



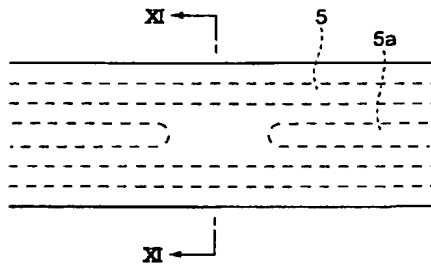
【図3】



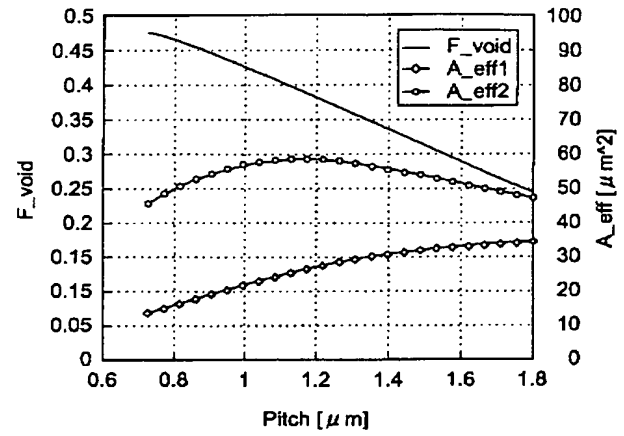
【図8】



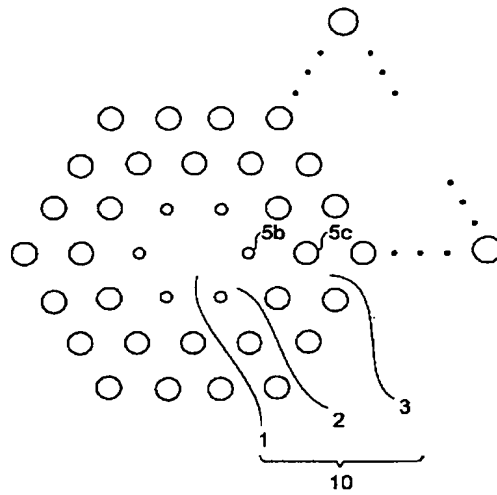
【図10】



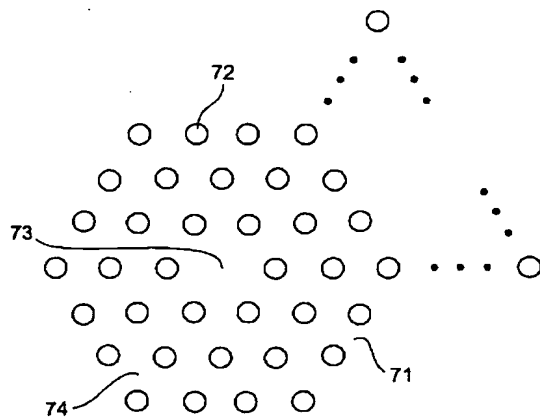
【図9】



【図11】



【図12】



フロントページの続き

(72)発明者 笹岡 英資

神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電  
気工業株式会社横浜製作所内

F ターム(参考) 2H050 AB04Z AC28 AC62 AC84